Über den Einfluß der metastabilen Anregungszustände auf die normale Stromdichte und den normalen Kathodenfall der Glimmentladung in Edelgasen und Edelgasgemischen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin

von

Johannes Meißner
aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 5. April 1940

Tag der Promotion: 23. April 1941

Berlin 1940

N 7

Referenten: Professor Dr. Gerthsen

Professor Dr. von Laue

Sonderabdruck aus „Zeitschrift für Physik", Band 117, Heft 5/6

Verlag von Julius Springer in Berlin

Um den Einfluß der metastabilen Anregungszustände in Edelgasglimmentladungen zu untersuchen, wurde die Gültigkeit der Ähnlichkeitsgesetze durch Messung der Druckabhängigkeit von Kathodenfall und normaler Stromdichte geprüft, denn nach Steenbeck muß die stufenweise Ionisation in reinen Gasen die Ähnlichkeitsgesetze stören. Zur Messung der normalen Stromdichte wurde dabei eine neuartige Methode entwickelt. Es zeigte sich, daß in den reinen Gasen die Ähnlichkeitsgesetze gelten, die Ionisationsprozesse im Gasraum durch metastabile Atome also vernachlässigt werden können. Bei Entladungen in Neon-Argon-Gemischen sinken normale Stromdichte und Kathodenfall stark ab, und es treten Abweichungen von den Ähnlichkeitsgesetzen auf. Bei einem Argonzusatz von etwa 0,5% findet keine Kontraktion der Entladung mehr statt, was durch die Veränderung der Funktion $\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{\mathfrak{E}}{p}\right)$ bedingt ist. Für die auftretenden Abweichungen von den Ähnlichkeitsgesetzen muß wahrscheinlich ein Oberflächeneffekt an der Kathode verantwortlich gemacht werden. — Die große Differenz zwischen Zündspannungsminimum und Kathodenfall bei den Gasen, die metastabile Anregungszustände besitzen, wird auf die Elektronenauslösung an der Kathode durch metastabile Atome zurückgeführt.

I. Einleitung.

Die vorliegende Arbeit schließt sich an die Untersuchungen von Schade[1]) über die stromdichtebegünstigte Entladung an, mit denen er nachweisen konnte, daß für die Neigung der Anfangscharakteristik in Edelgasentladungen diejenigen Ionisierungsprozesse verantwortlich zu machen sind, deren Anzahl mit dem Quadrat der Stromdichte ansteigt und daß es sich bei diesen Prozessen um Ionisationen beim Stoß metastabiler Atome gegeneinander handelt, wobei der eine Stoßpartner ionisiert wird, während der andere in den Grundzustand übergeht. Nachdem auch die Untersuchungen von Büttner[2]) die Bedeutung dieser Prozesse in der Townsendentladung nachgewiesen haben, liegt die Vermutung nahe, daß sie auch in

[1]) R. Schade, Naturwissensch. **25**, 448, 1937; ZS. f. Phys. **108**, 353, 1938. — [2]) H. Büttner, ebenda **111**, 750, 1939. —

Glimmentladungen eine bedeutende Rolle spielen, denn hier werden Atome in metastabilen Anregungszuständen wegen der großen Stromdichten in viel stärkerem Maße erzeugt als in der Townsend-Entladung.

Unsere Kenntnisse über die Beeinflussung der Glimmentladung durch die metastabilen Anregungszustände beruhen zumeist auf Untersuchungen über Zündspannung und Spektrum von Entladungen in Gasgemischen, die dadurch charakterisiert sind, daß die Energie der metastabilen Atome des Hauptgases ausreicht, um das Zusatzgas durch Stoß zweiter Art zu ionisieren[1]). Diese zusätzliche Ionisation macht sich in einer Zündspannungserniedrigung bemerkbar, die als Penning-Effekt[2]) bezeichnet wird. Um den Einfluß der metastabilen Anregungszustände auf den Mechanismus der Glimmentladung zu erfassen, ist aber vor allem eine Untersuchung der kathodischen Entladungsteile erforderlich, weil diese den Charakter der Glimmentladung bestimmen. Hierüber liegen bisher nur wenige Arbeiten vor. de Groot[3]) hat festgestellt, daß die normale Stromdichte an stabförmigen Elektroden in Gemischen von Neon mit 1 bis 2% Argon kleiner ist als in reinen Gasen. Reichrudel und Spiwak[4]) finden als Ort größter Konzentration und damit als wesentlichsten Entstehungsort der metastabilen Atome das negative Glimmlicht. Ferner zeigen die genannten Verfasser, daß durch Bestrahlen der Entladung in Neon-Argon-Gemischen mit dem Licht einer Neonsäule der Kathodenfall steigt, was sie auf die Vernichtung von metastabilen Atomen durch Einstrahlung zurückführen.

Wie sich aus den Untersuchungen von Steenbeck[5]) ergibt, muß die in reinen Edelgasen auftretende stufenweise Ionisation durch Zusammenstoß von metastabilen Atomen mit Elektronen oder durch Zusammenstoß zweier metastabiler Atome die Holmschen Ähnlichkeitsgesetze[6]) stören, da die Anzahl derartiger Ionisationsprozesse mit dem Quadrat der Konzentration der metastabilen Atome, in erster Näherung also auch proportional dem Quadrat der Stromdichte ansteigt. Dagegen darf in Gasgemischen die den Penning-Effekt aufweisen, die Ionisierung des Zusatzgases durch die metastabilen Atome des Hauptgases die Ähnlichkeitsgesetze nicht stören.

[1]) Vgl. Literaturangaben im Handb. d. Phys. XXIII, 1, S. 775 ff., Berlin 1933. — [2]) F. M. Penning, Naturwissensch. **15**, 818, 1927; ZS. f. Phys. **46**, 335, 1927 und **72**, 338, 1931; Physica **10**, 47, 1930; Phil. Mag. **11**, 961, 1931; Physica **12**, 66, 1932 und **1**, 1028, 1934. — [3]) W. de Groot, Naturwissensch. **15**, 818, 1927. — [4]) E. Reichrudel u. G. Spiwak, Phys. ZS. d. USSR. **10**, 121, 1936. — [5]) M. Steenbeck, Wiss. Veröff. Siemens **11**, 36, 1932 und A. v. Engel u. M. Steenbeck, Elektr. Gasentladungen II, S. 97 ff., Berlin 1934. — [6]) R. Holm, Phys. ZS. **25**, 504, 1924.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde deshalb die Gültigkeit der Ähnlichkeitsgesetze in den Edelgasen und Edelgasgemischen geprüft, indem die normale Stromdichte und der normale Kathodenfall in Abhängigkeit vom Gasdruck gemessen wurde.

Daneben wurde die Angabe von Schade[1]), daß die Differenz zwischen Kathodenfall und Zündspannungsminimum in denjenigen Gasen besonders groß ist, die metastabile Anregungszustände besitzen, experimentell untersucht. Da nach dem Extremalpostulat von Compton und Morse[2]) die sich in der Glimmentladung einstellende Feldstärke die energetisch günstigste ist, müßte der Kathodenfall mit dem Minimum der Zündspannung übereinstimmen, denn durch die Feldverzerrung allein können die Entladungsbedingungen nicht noch günstiger als im Zündspannungsminimum werden. Die trotzdem immer auftretende, bei den unedlen Gasen aber prozentual kleine Differenz läßt sich durch die Erhöhung der Ionisierung im Kathodenfallgebiet erklären, die dadurch zustande kommt, daß die Elektronen in Feldrichtung noch eine kleine Strecke mit der im größeren Felde aufgenommenen Energie laufen, ehe sie zum ionisierenden Stoß kommen[2]). Demgegenüber ist die große Differenz zwischen Kathodenfall und Zündspannungsminimum in den Edelgasen, auf die kürzlich auch Grigorivici[3]) hinwies, auffällig, und nach Schade[1]) läßt sich als deren Ursache eine Mitwirkung der metastabilen Anregungszustände vermuten.

Da sich nach Penning[4]) die Konzentration der metastabilen Atome in einer Edelgasentladung durch Einstrahlung des Lichtes einer positiven Säule des gleichen Gases verändern läßt, wurden auch Messungen der Stromdichte und des Kathodenfalles in Neon mit verschiedenen Argonzusätzen unter gleichzeitiger Bestrahlung vorgenommen. Nach Schade[1]) ist aber dabei eine Beeinflussung der Entladung nur in Gasgemischen zu erwarten[5]).

[1]) R. Schade, ZS. f. Phys. **108**, 353, 1938. — [2]) K. T. Compton und M. Morse, Phys. Rev. **30**, 305, 1927. — [3]) R. Grigorivici, ZS. f. Phys. **11**, 596, 1939. — [4]) F. M. Penning, ebenda **57**, 732, 1929. — [5]) Die bei der Einstrahlung wirksame Linie 6402 Å des Neons führt die metastabilen s_5-Zustände in den p_9-Zustand über. Nach Penning sollen sie von hier in den Grundzustand gelangen, was mit einer direkten Vernichtung der metastabilen Zustände gleichbedeutend wäre. Dagegen betont Schade, daß nach den Auswahlregeln vom p_9-Zustand nur wieder der Übergang in den s_5-Zustand möglich ist. Daraus erklärt Schade die Tatsache, daß die Neigung der Charakteristik in reinen Gasen durch die Einstrahlung nicht geändert wird. Dagegen wird in Neon-Argon-Gemischen bei der Einstrahlung die Zusatzgasionisation durch den hohen Energieüberschuß des p_9-Anregungszustandes gegenüber der Ionisierungsspannung des Argons vermindert. Damit ermöglicht die Einstrahlung das Erkennen kleinster Gasverunreinigungen und Verminderung der Einflüsse solcher Beimengungen auf die Entladung.

II. Meßmethode und Versuchsbedingungen.

1. Messung der normalen Stromdichte. Da die einfache Form der Ähnlichkeitsgesetze, wonach die Stromdichte proportional dem Quadrat des Gasdruckes ist, nur bei Entladungen an ebenen Elektroden gilt, waren die bekannten Methoden zur Messung der normalen Stromdichte, bei denen stabförmige Kathoden benutzt werden[1]), für die vorliegenden Untersuchungen ungeeignet. Bei den bisher bekannten Methoden zur Messung an ebenen Elektroden[2]) beeinflußt das Randgebiet der Entladung die Werte für die Stromdichte. Um diese Fehlerquelle auszuschließen, wurde ein Kathodensystem benutzt, das aus einer mittleren Scheibe und drei sie konzentrisch umgebenden Ringen bestand (Fig. 1a)[3]). An die mittlere Scheibe wird eine Überspannung in Höhe von etwa 10 Volt gelegt. Dadurch wird erreicht, daß die Entladung dort zündet und auch nach der Kontraktion dort weiter brennt. Erst wenn mit wachsender Stromstärke für die umgebenden Ringe die dem normalen Kathodenfall zugehörige Brennspannung erreicht ist, der Kathodenfall für die Scheibe S also schon etwas anormal ist, wird sich die Entladung von der mittleren Scheibe aus gleichmäßig über die Ringe ausbreiten, wobei die Brennspannung konstant bleibt, bis die Stromstärke so groß geworden ist, daß die Kathode vollständig bedeckt ist. Infolge des anormalen Kathodenfalles an der mittleren Scheibe herrscht aber dort eine erhöhte Ladungsträgerkonzentration, die eine Diffusion nach außen bedingt. Der Ring R_1 (Fig. 1a) dient nun dazu, das durch die abdiffundierenden Ladungsträger entstandene Übergangsgebiet von der Messung auszuschließen. Läßt man nun die Entladung

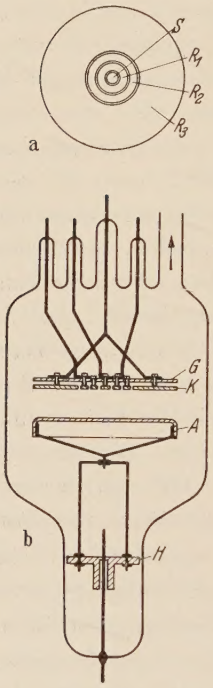

Fig. 1.
a) Kathodensystem,
b) Entladungsrohr.

[1]) N. Hehl, Phys. ZS. **3**, 547, 1902; H. S. Wilson, Phil. Mag. **4**, 608, 1902. J. Stark, Phys. ZS. **3**, 88, 1901; A. Güntherschulze, ZS. f. Phys. **19**, 313, 1923; R. Seeliger u. M. Reger, Ann. d. Phys. **83**, 535, 1927. — [2]) C. A. Skinner, Phys. Rev. **5**, 483, 1915; W. L. Cheney, ebenda **7**, 241, 1916; W. Neuswanger, ebenda **7**, 253, 1916; A. Güntherschulze, ZS. f. Phys. **20**, 1, 1923; A. v. Engel, R. Seeliger u. M. Steenbeck, Phys. ZS. **85**, 144, 1933; A. v. Muralt, Ann. d. Phys. **85**, 1117, 1928. — [3]) Eine Unterteilung wurde schon von R. Seeliger und M. Reger (Ann. d. Phys. **83**, 535, 1927) ohne Erfolg versucht, da es ihnen nicht gelang, homogene Kathodenoberflächen zu erhalten.

sich über den Ring R_2 und R_3 ausbreiten, so bleibt bei Gültigkeit des Hehlschen Gesetzes die Stärke des durch den Ring R_2 gehenden Stromes nach dessen vollständiger Bedeckung konstant, bis auch der Ring R_3 vollständig bedeckt ist. Aus der Größe dieser Stromstärke in dem konstanten Bereich bestimmt sich die normale Stromdichte durch Division durch den Flächeninhalt des Ringes R_2.

Das benutzte Entladungsgefäß (Fig. 1b) hatte einen Durchmesser von 10 cm. Die Kathodenteile K bestanden aus 0,5 mm starkem, im Vakuum geschmolzenen Nickelblech der Firma Heraeus. Die mittlere Scheibe S (s. Fig. 1a) hat einen Durchmesser von 8 mm, die äußeren Durchmesser der Ringe betragen 18,6, 27,2 und 80 mm. Die isolierenden Spalte zwischen den Ringen haben eine Breite von 0,3 mm. Auf der Rückseite der Kathodenringe sind kleine Schraubenmuttern aus Nickel aufgeschweißt, durch die eine Befestigung der Ringe auf einer Glimmerscheibe G ermöglicht wird, ohne daß das Blech direkt auf dem Glimmer aufliegt. Dies ist notwendig, weil sich sonst wegen der Kathodenzerstäubung bald eine leitende Schicht auf dem Glimmer zwischen den Ringen niederschlägt.

Als Anode A wurden bei Messungen in verschiedenen Rohren teils stabförmige, teils ebene Elektroden aus Nickelblech verwendet, deren Abstand von der Kathode verändert werden konnte. Dies konnte durch Drehen eines Eisenankers H mit einem Magneten von außen geschehen. Es bestätigte sich dabei die Angabe von Seeliger und Reger[1]), wonach die Stromdichte von der Stellung und der Form der Anode völlig unabhängig ist, solange die Entladung nicht behindert brennt. Die Elektroden wurden vor dem Einsetzen abgeschmirgelt und mit Xylol und Alkohol gewaschen. Vor dem Ansetzen des Rohres an die Pumpe wurde es nacheinander mit destilliertem Wasser und Methanol ausgewaschen. Dann wurde es an der Pumpe 5 bis 6 Stunden bei 500° ausgeheizt. Zwischen Pumpe und Rohr befand sich eine Kühlfalle mit flüssiger Luft, die Quecksilberdampf und andere kondensierbare Verunreinigungen fernhielt.

Zu den Messungen wurden die von der Firma Griesogen gelieferten spektralreinen Edelgase benutzt, die nach dem Durchströmen der Kühlfalle in das Entladungsrohr gelangten. Da aber die Untersuchungen zeigten, daß schon sehr kleine Verunreinigungen, besonders beim Neon, Stromdichte, Kathodenfall und Zündspannung merklich beeinflussen, wurde eine weitere Reinigung erforderlich. Dazu wurde das von Büttner[2]) benutzte Reinigungsverfahren angewandt, mit dem die unedlen Gase hinreichend entfernt

[1]) R. Seeliger u. M. Reger, Ann. d. Phys. **83**, 535, 1927. — [2]) H. Büttner, ZS. f. Phys. **111**, 750, 1939.

werden können: In einer mit dem Entladungsrohr verbundenen Kugel wird durch Verdampfen im Vakuum ein Bariumspiegel erzeugt. Um ein Beschlagen der Elektroden mit Bariumdampf besonders beim Ausheizen der Apparatur zu vermeiden, wurden Entladungsrohr und Bariumkugel durch eine zweite Kühlfalle mit flüssiger Luft getrennt. Es zeigte sich aber, daß auch dieses Verfahren nicht alle Beimengungen zu entfernen vermochte. Die Hauptverunreinigungen der angelieferten Edelgase sind vermutlich andere Edelgase, weil die vollständige Trennung der Edelgase technisch sehr schwierig ist. Es konnte deshalb eine Verunreinigung von schätzungsweise $10^{-4}\,\%$ nicht beseitigt werden. Ihr Einfluß auf die gemessenen Größen der Entladung konnte aber durch Bestrahlen der Entladung mit dem Licht der positiven Säule desselben Edelgases zurückgedrängt werden[1]).

Von den benutzten unedlen Gasen wurde der Wasserstoff elektrolytisch gewonnen und durch Diffusion durch ein geheiztes Palladiumröhrchen gereinigt. Der Stickstoff wurde durch Erhitzen von Natriumazid dargestellt, der Sauerstoff aus Kaliumpermanganat entwickelt. Eine Veränderung der normalen Stromdichte durch die Temperaturerhöhung an der Kathode, die allgemein in der Literatur als bedeutende Fehlerquelle erwähnt wird[2]), war in den benutzten Edelgasen nur in sehr geringem Maße festzustellen. Offenbar ist die Stromdichte hier so klein, daß eine größere Erwärmung vermieden wird. In den unedlen Gasen, bei denen die Stromdichten über eine Größenordnung höher liegen, konnte nach dem Einschalten der Entladung ein Absinken der Stromdichte beobachtet werden. Es wurde deshalb die Ablesung immer gleich nach dem Einschalten der Entladung vorgenommen und zwischen zwei Versuchen immer Temperaturausgleich abgewartet. Die für die Stromdichtemessung benutzte Schaltung geht aus der Skizze (Fig. 2) hervor. Als Stromquelle dient ein 440 Volt-Generator und gelegentlich zusätzlich Akkumulatorenbatterien. Das Strombegrenzungsrohr R, das eine konstante Entladungsstromstärke sicherstellte, die durch Änderung des Heizstromes variiert werden konnte, war ein Siemens B. F.-Rohr. In der Fig. 3 sind einige Versuchsergebnisse dargestellt. Als Abszisse ist die Summe der Stromstärken durch die Ringe R_2 und R_3 (Fig. 1a), die mit I_G bezeichnet wird, aufgetragen, als Ordinate die Stromstärke I_E durch R_2. Mit steigender Gesamtstromstärke steigt der

[1]) Die dazu benutzte Versuchsanordnung entsprach der von Penning angegebenen (ZS. f. Phys. **57**, 732, 1929), wobei die positive Säule in einem spiralförmig gewundenen Rohr brannte, das die zu untersuchende Entladung umgab. — [2]) Vgl. z. B. R. Seeliger, Phys. d. Gasentladungen, 2. Aufl., S. 294, Leipzig 1934.

Strom durch die Meßelektrode I_E zunächst an, bis er bei ihrer vollständigen Bedeckung von der Gesamtstromstärke unabhängig wird. Nach vollständiger

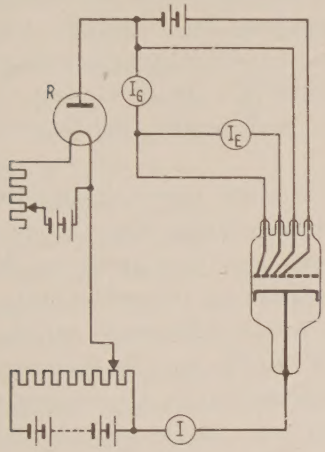

Fig. 2. Schaltung zur Messung der normalen Stromdichte.

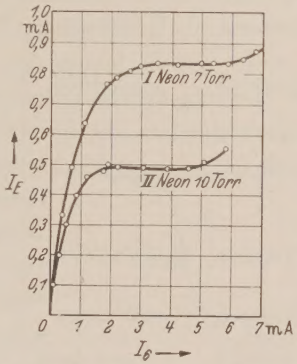

Fig. 3. Stromstärke I_E durch die Meßelektrode in Abhängigkeit vom Gesamtstrom I_G.

Bedeckung der ganzen Kathode steigt dann mit I_G auch I_E wieder an. Der konstante Wert von I_E liefert nach Division durch die Fläche des Ringes R_2 die normale Stromdichte.

2. Messung des normalen Kathodenfalles. Zur Messung des normalen Kathodenfalles wurde die von Güntherschulze[1]) und von Dällenbach[2]) angegebene Methode benutzt. Sie besteht darin, daß bei Veränderung des Elektrodenabstandes die Brennspannung gemessen wird. Bevor der Abstand so klein ist, daß eine Behinderung der Entladung auftritt, hat die Brennspannung in einem größeren Bereich einen konstanten Wert. Diese stellt nach Güntherschulze den normalen Kathodenfall dar. Wie Jung[3]) und Pike[4]) betonen, ist der Kathodenfall sehr empfindlich gegen Verunreinigungen der Kathode und des Füllgases. Die in den Handbüchern und Lehrbüchern über Gasentladungen angegebenen Zahlenwerte dürften deshalb, wie auch Seeliger[5]) betont, keinen Anspruch auf Genauigkeit haben, da sie zum Teil aus so alten Arbeiten[6]) stammen, daß bei den Mes-

[1]) A. Güntherschulze, ZS. f. Phys. **28**, 129, 1924. — [2]) W. Dällenbach, Phys. ZS. **26**, 483, 1925. — [3]) C. Jung, Helv. Phys. Acta **4**, 189, 1931. — [4]) E. W. Pike, ZS. f. Phys. **90**, 319, 1934. — [5]) R. Seeliger, Physik d. Gasentladungen, 2. Aufl., S. 288, Leipzig 1934. — [6]) Vgl. Quellenangabe im Grätz, Handb. d. Elektr. u. d. Magn., Bd. XI, S. 854—855, Leipzig 1923.

sungen nicht einmal vakuumtechnisch die Möglichkeit bestand, die erforderliche Reinheit zu erreichen. Das zu den Messungen benutzte Entladungsrohr hatte zwei ebene Elektroden von 5 cm Durchmesser, deren Abstand verändert werden konnte. Die Vorbehandlung der Elektroden und des Rohres entsprach dem oben bei dem zur Stromdichtemessung verwendeten Rohre beschriebenen Verfahren, nur wurden hier die Elektroden vor der Messung noch mit Hochfrequenz im Vakuum ausgeglüht. Zur Gasreinigung diente wieder der Bariumspiegel.

Die Messung der Brennspannung wurde mit einem elektrostatischen Lichtzeigervoltmeter von Siemens & Halske durchgeführt, dessen Meßbereich durch eine Gegenspannung der zu messenden Spannung angepaßt wurde. Das Instrument erlaubt Ablesungen auf $^1/_{10}$ Volt Genauigkeit. In Fig. 4 ist ein typisches Versuchsergebnis dargestellt. Als Abszisse ist der Abstand Kathode—Anode und als Ordinate die Brennspannung aufgetragen. Bei sehr kleinen Abständen brennt die Entladung zunächst noch behindert. Mit größer werdendem Abstand fällt deshalb die Brennspannung ab, bis der Kathodenfall sich frei ausbilden kann. Bei weiterer Vergrößerung des Abstandes bleibt in einem breiten Gebiet die Brennspannung praktisch konstant, und ihr Wert gibt hier die Größe des Kathodenfalles an. Erst bei Ausbildung des Anodenfalles steigt sie dann plötzlich sehr steil an, geht aber wieder zu langsamem Anstieg über, wenn sich bei Vergrößerung des Elektrodenabstandes eine positive Säule ausbildet.

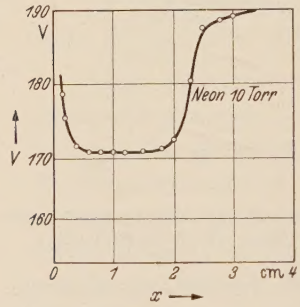

Fig. 4.
Abhängigkeit der Brennspannung vom Elektrodenabstand.

An dem gleichen Rohr wurde auch die Zündspannung bestimmt, indem die Brennspannung der Townsend-Entladung bei einer Entladungsstromstärke von 10^{-7} Amp. gemessen wurde. Als Strommesser diente hierbei ein Lichtzeigerinstrument von Siemens & Halske, das $6 \cdot 10^{-9}$ Amp. pro Skalenteil anzeigte. Durch Veränderung des Elektrodenabstandes konnte entsprechend das Minimum der Zündspannung bestimmt werden.

III. Ergebnisse der Messungen in reinen Gasen.

Nach den Ähnlichkeitsgesetzen ist zu erwarten, daß sich die Stromdichte proportional dem Quadrat des Druckes ändert. Der untersuchte Druckbereich liegt zwischen 4 und etwa 10 Torr. Diese Abgrenzung war nötig, da unterhalb 4 Torr das störende Randgebiet in einigen Gasen so

breit ist, daß dort für einwandfreie Messungen nicht garantiert werden kann. Oberhalb von 10 Torr Gasdruck sind bei der hohen Stromdichte Erwärmungen und damit Dichteänderungen des Gases an der Kathode nicht zu vermeiden, wodurch leicht eine unrichtige Druckabhängigkeit vorgetäuscht werden kann. Die in diesem Druckbereich durchgeführten Messungen zeigt Fig. 5, bei der der Logarithmus der Stromdichte gegen den Logarithmus des Druckes aufgetragen ist[1]). Die Versuchsergebnisse liefern in allen Fällen innerhalb der Meßgenauigkeit Geraden, denen eine Druckabhängigkeit der Stromdichte von der Form $j = j_0 \cdot p^b$ entspricht, wobei der Exponent b durch die Steigung der Geraden bestimmt ist. Bei den Entladungen in unedlen Gasen und in Argon sind die Exponenten gleich 2, die Ähnlichkeitsgesetze also erfüllt. In Neon und Helium dagegen treten merkliche Abweichungen vom Ähnlichkeitsgesetz auf. Es ergibt sich in beiden Fällen ein kleinerer Exponent als 2. Bei Bestrahlung der Entladung in diesen beiden Gasen mit dem Licht einer positiven Säule des gleichen Gases ergab sich bis zu einer bestimmten Stromstärke im Bestrahlungsrohr

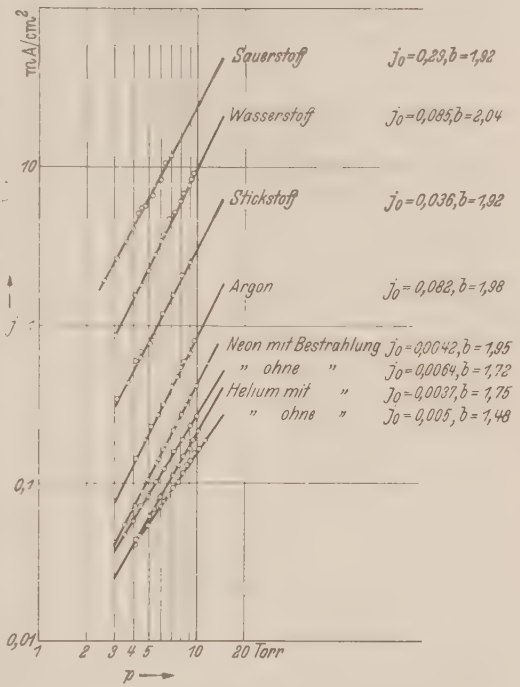

Fig. 5. Normale Stromdichte j in Abhängigkeit vom Gasdruck p.

[1]) Da bei den großen Stromdichten in unedlen Gasen die Entladungsstromstärke in dem oben beschriebenen Rohr größer wurde als die Strombegrenzungsrohre es zuließen, wurden für diese Messungen kleinere Kathoden benutzt, die aus einer kreisförmigen Meßelektrode und einem sie umgebenden Ring bestanden. Auf eine Fixierung des Glimmlichtes wurde hier also verzichtet. Die Ablesungen konnten deshalb erst dann vorgenommen werden, wenn das Glimmlicht die Kathode fast vollständig bedeckte. Dann erst war man sicher, daß die Meßelektrode völlig bedeckt war, was sich am Konstantbleiben des Meßelektronenstromes bis zur vollständigen Bedeckung der ganzen Kathode erkennen ließ.

eine Erhöhung der Stromdichte, und dabei wurde die Abweichung von den Ähnlichkeitsgesetzen geringer. So stieg im Helium der Exponent auf 1,75, und in Neon erreichte er sogar praktisch den Wert 2. Wie die Untersuchungen in Gasgemischen zeigen werden, sind die Abweichungen von diesen Exponenten in der unbestrahlten Entladung auf Verunreinigungen des Gases zurückzuführen, deren Einfluß durch die Bestrahlung zurückgedrängt wird. Sieht man also zunächst vom Helium ab, so kann nach den durchgeführten Messungen als bewiesen gelten, daß die Ähnlichkeitsgesetze in reinen Gasen Gültigkeit besitzen, daß also die in der Glimmentladung in reinen Edelgasen vorhandenen metastabilen Atome deren Gültigkeit nicht stören. Aber auch beim Helium ist es nicht erwiesen, daß die Abweichungen von den Ähnlichkeitsgesetzen auf Ionisationen bei Zusammenstößen metastabiler Atome untereinander zurückgeführt werden müssen. Es ist wahrscheinlicher, daß hier die Intensität der wirksamen Resonanzlinie der Einstrahlung nicht ausreichte, um den Exponenten 2 zu erreichen.

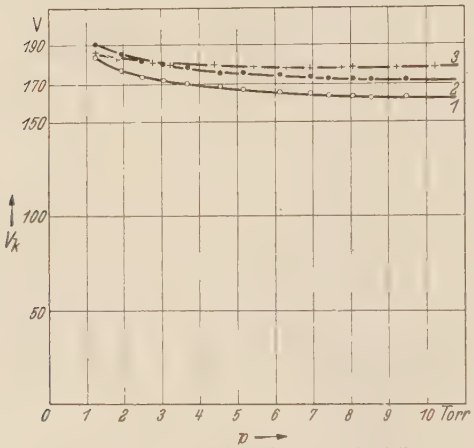

Fig. 6. Abhängigkeit des Kathodenfalles vom Druck.
1. Neon ohne Bestrahlung,
2. Neon mit Bestrahlung,
3. Argon.

Um eine zweite Bestätigung der Gültigkeit der Ähnlichkeitsgesetze zu erhalten, wurde der Kathodenfall in Abhängigkeit vom Gasdruck untersucht. Dabei ergab sich nach Fig. 6 eine geringe, aber systematische Abnahme des Kathodenfalles mit steigendem Druck. In dem beobachteten Druckintervall von 4 bis 10 Torr fällt der Kathodenfall in Argon um 0,5 %, in Neon um 4 %. Da aber die Bestrahlung, wie Fig. 6 zeigt, keinen Einfluß auf diesen Abfall ausübt und die gleiche Abweichung vom Ähnlichkeitsgesetz von Güntherschulze[1]) auch bei den unedlen Gasen beobachtet wurde, ist ein Zusammenhang der Ursache hierfür mit den metastabilen Anregungszuständen unwahrscheinlich. Es liegt vielmehr nahe, diesen Effekt als einen Randeffekt zu deuten, da infolge der durch die Kathodenoberfläche vorgegebenen maximalen Gesamtausdehnung der normalen

[1]) A. Güntherschulze, ZS. f. Phys. **49**, 473, 1928.

Entladung das Randgebiet mit sinkendem Druck in bezug auf die ganze Entladung an Bedeutung gewinnt, wodurch der Kathodenfall ansteigen muß, um die Entladung aufrecht erhalten zu können. Danach können also, wenn man von diesen durch den Rand bedingten kleinen Abweichungen absieht, durch die Kathodenfallmessungen wie vorher durch die Stromdichtemessungen, die Ähnlichkeitsgesetze auch in den Gasen als gültig erwiesen gelten, die metastabile Anregungszustände besitzen.

IV. Ergebnisse der Messungen in Gasgemischen.

Brennt eine Entladung in einem Gemisch eines Hauptgases, das metastabile Anregungszustände besitzt, mit einem Zusatzgas, dessen Ionisierungs-

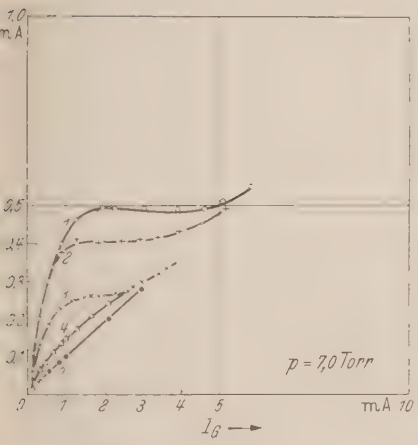

Fig. 7a.

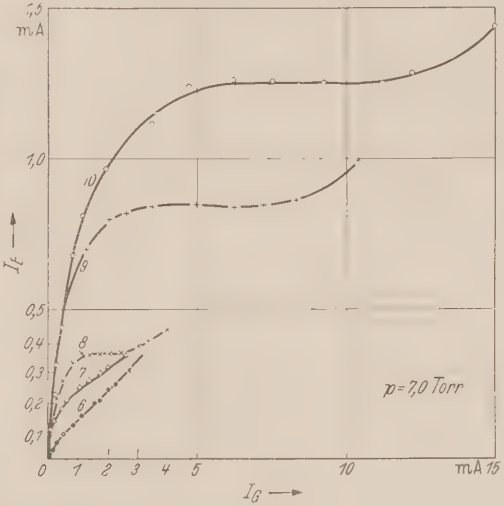

Fig. 7b.

Fig. 7a und b. Strom durch die Meßelektrode in Abhängigkeit vom Gesamtstrom in Neon-Argongemischen.

1. Reines Neon,
2. $6 \cdot 10^{-4}$ % Argon,
3. $4 \cdot 10^{-3}$ % Argon,
4. $2 \cdot 10^{-2}$ % Argon,
5. 10^{-1} % Argon,
6. 1,1 % Argon,
7. 17,8 % Argon,
8. 32,2 % Argon,
9. 75,6 % Argon,
10. Reines Argon.

spannung unter dem Anregungsniveau der metastabilen Zustände des Hauptgases liegt, so findet eine Ionisation des Zusatzgases durch die metastabilen Atome statt. Mit steigendem Prozentsatz des Zusatzgases gewinnt diese Ionisation solange an Bedeutung, bis alle metastabilen Atome des Hauptgases durch diesen Ionisierungsmechanismus vernichtet werden. Diese zusätzliche Erzeugung von Ladungsträgern macht eine Änderung der normalen Stromdichte und des normalen Kathodenfalles wahrscheinlich, wobei aber nach

Steenbeck[1]) die Ähnlichkeitsgesetze gültig bleiben müßten. Es wurde deshalb auch in verschiedenen Neon-Argon-Gemischen die Stromdichte und der Kathodenfall in Abhängigkeit vom Druck gemessen. Zum Vergleich wurde dabei auch das Minimum der Zündspannung bestimmt, wodurch entsprechende Messungen von Penning und Addink[2]) an Eisenelektroden auf Nickelelektroden ausgedehnt wurden.

Das Ergebnis der Stromdichtemessungen in verschiedenen Gemischen für den Druck $p = 7$ Torr ist in Fig. 7a und b zusammengestellt, die wieder

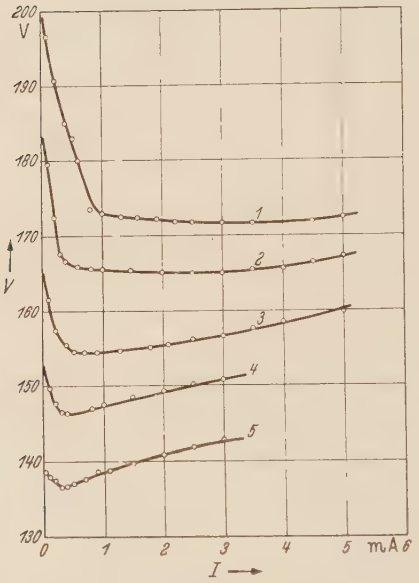

Fig. 8a.

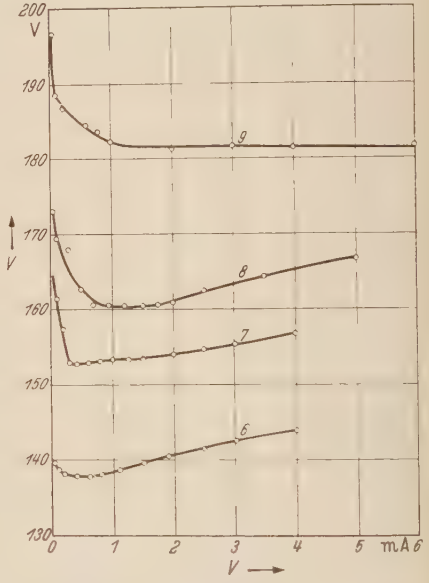

Fig. 8b.

Fig. 8a und b. Brennspannung in Abhängigkeit von der Entladungsstromstärke in Neon-Argon-Gemischen.

1. Reines Neon,
2. 10^{-3} % Argon,
3. $2 \cdot 10^{-2}$ % Argon,
4. 10^{-1} % Argon,
5. $5 \cdot 10^{-1}$ % Argon,
6. 1,1 % Argon,
7. 9,3 % Argon,
8. 17,6 % Argon,
9. Reines Argon.

die Abhängigkeit der Stromstärke durch die Meßelektrode von der Gesamtstromstärke der Entladung angibt. Die normale Stromdichte sinkt zunächst mit steigendem Argonprozentsatz ab (Fig. 7a). Oberhalb von $5 \cdot 10^{-3}$ % Argon kontrahiert die Entladung nur noch so wenig, daß mit der gegebenen

[1]) M. Steenbeck, Wiss. Veröff. Siemens **11**, 36, 1932 u. A. v. Engel u. M. Steenbeck, Elektr. Gasentladungen II, S. 97 ff., Berlin 1934. — [2]) F. M. Penning u. C. C. Addink, Physica **1**, 1007, 1934.

Elektrodenanordnung kein normales Gebiet mehr festzustellen ist. Die Entladung bedeckt dann schon bei kleinsten Stromstärken die ganze Kathode, wobei das Licht der Entladung im Vergleich zur Glimmentladung im reinen Gase weit von der Kathode entfernt ist und als diffuse Wolke mit geringer nach außen abfallender Intensität zwischen Anode und Kathode erscheint.

Entsprechende Ergebnisse liefern die Kathodenfallmessungen. Während in reinen Gasen der Kathodenfall unabhängig von der Gesamtstromstärke ist, solange die Kathode nicht vollständig bedeckt ist, läßt sich dieses normale Gebiet bei den Gasgemischen mit 10^{-1} bis 10^{-2}% Argongehalt nicht mehr erkennen (Fig. 8a und b)[1]). Bei diesen fällt mit steigender Stromstärke der Entladung die Brennspannung von der Zündspannung aus zunächst schwach ab, was noch einer geringen Kontraktion gleichkommt, steigt aber dann gleich wieder wie im anormalen Gebiet an. Bei größeren Argonzusätzen steigt dann Stromdichte und Kathodenfall wieder an (Fig. 7b und 8b). Bei etwa 20% Argon tritt wieder ein normales Gebiet auf, und die beiden gemessenen Größen nähern sich dann stetig den Werten für reines Argon.

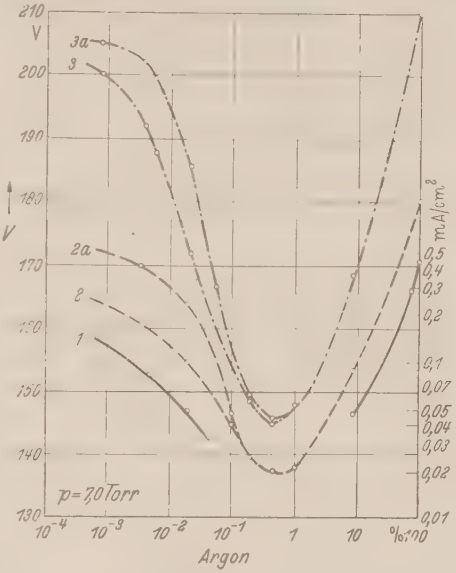

Fig. 9. Normale Stromdichte und Minimum der Brennspannung in Abhängigkeit vom Argonzusatz.
1. Normale Stromdichte,
2. Minimum der Brennspannung (Kathodenfall),
2a. Minimum der Brennspannung bei Bestrahlung,
3. Minimum der Zündspannung,
3a. Minimum der Zündspannung bei Bestrahlung.

In Fig. 9 sind die Versuchsergebnisse für die normale Stromdichte, den Kathodenfall als Minimum der Brennspannung und das Minimum der Paschenschen Zündspannungskurven in Abhängigkeit von den Argonbeimengungen zusammengestellt. Es folgt daraus, daß zwischen 10^{-3} und 10^{-1}% Argon die Stromdichte, der Kathodenfall und die kleinste Zündspannung ein Minimum durchlaufen. Der Vergleich dieser Beobachtungen

[1]) Der Elektrodenabstand war bei diesen Versuchen so gewählt, daß die Brennspannung gleich dem Kathodenfall ist.

mit der von Kruithof und Penning[1]) aufgenommenen Funktion $\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{\mathfrak{E}}{p}\right)$ in Gasgemischen zeigt, daß sich der starke Abfall von Stromdichte, Kathodenfall und Zündspannung auf eine Änderung dieser Funktion zurückführen läßt, und zwar verschiebt sich die Feldstärke, bei der die kleinste Energie zur Bildung eines Ionenpaares gebraucht wird, nach kleineren Werten.

Aus den Kurven 2a und 3a in Fig. 9 ergibt sich auch, daß im Gebiet der kleinsten Kontraktion ein Einfluß der Bestrahlung nicht mehr festgestellt werden kann, weil hier, wie schon die Penningschen und Schadeschen Untersuchungen ergeben haben, die Lebensdauer der metastabilen Atome infolge ihrer schnellen Vernichtung am zugesetzten Argon zu gering ist für eine Absorption des eingestrahlten Lichtes.

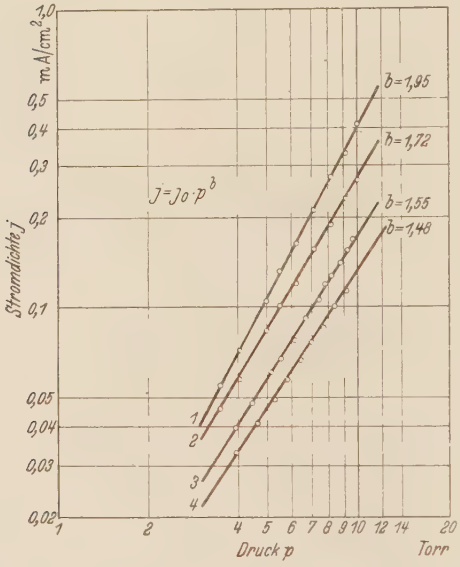

Fig. 10. Normale Stromdichte in Abhängigkeit vom Druck in Gasgemischen.
1. Neon mit Bestrahlung,
2. Neon,
3. Neon mit $2 \cdot 10^{-3}$% Argon,
4. Neon mit $4 \cdot 10^{-3}$% Argon.

Zur Prüfung der Gültigkeit der Ähnlichkeitsgesetze konnten nur Neon-Argon-Gemische benutzt werden, deren Argongehalt unter $5 \cdot 10^{-3}$% lag, weil bei größeren Zusätzen ein normales Gebiet der Entladung nicht mehr festgestellt werden kann. Wie Fig. 10 zeigt, kann die Druckabhängigkeit der normalen Stromdichte innerhalb der Meßgenauigkeit in der Form $j = j_0 \cdot p^b$ angegeben werden. Der Exponent b fällt aber mit steigendem Prozentsatz des Zusatzgases ab. Die Ähnlichkeitsgesetze gelten in Gasgemischen also nicht.

Eine zweite Bestätigung dieses unerwarteten Ergebnisses liefern die entsprechenden Messungen im Argon-Quecksilbergemisch. Neben dem Entladungsgefäß wurde am Pumparm eine Glasröhre angesetzt, in die ein Tropfen Quecksilber gebracht war. Während des Ausheizens wurde das

[1]) A. A. Kruithof u. M. F. Penning, Physica 4, 430, 1937.

Quecksilber mit flüssiger Luft gekühlt. Das Entladungsgefäß wurde dann mit Argon gefüllt. Solange die flüssige Luft das Verdampfen des Quecksilbers verhinderte, erwiesen sich die Ähnlichkeitsgesetze als gültig. Ließ man aber das Quecksilber sich auf Zimmertemperatur erwärmen, so traten zunächst unreproduzierbare Schwankungen in der Größe der normalen Stromdichte auf, die vielleicht auf Oberflächenveränderungen der Kathode zurückgeführt werden können. Als aber, nachdem das Quecksilber einen Tag im Entladungsgefäß anwesend war, das Rohr mit Argon neu gefüllt wurde, ergab sich die Kurve 2 in Fig. 11, die dann auch noch nach Tagen

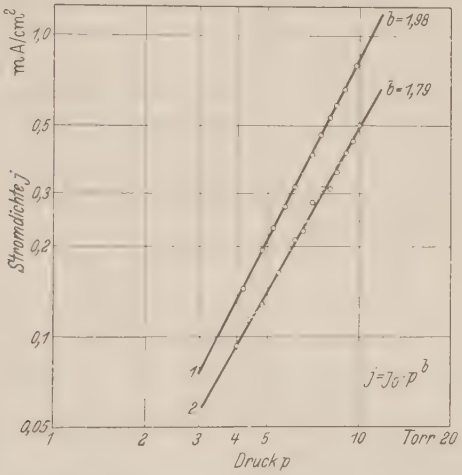

Fig. 11. Normale Stromdichte in Abhängigkeit vom Druck p.
1. Reines Argon,
2. Argon-Quecksilber-Gemisch.

reproduzierbar war. Wie die Fig. 11, die die Stromdichte in reinem Argon mit der im Argon-Quecksilber-Gemisch vergleicht, zeigt, tritt auch hier wie im Neon-Argon-Gemisch eine Abweichung vom p^2-Gesetz und damit von den Ähnlichkeitsgesetzen auf.

Durch diese Meßergebnisse ist es wahrscheinlich gemacht, daß auch die bei dem benutzten, als „spektralrein" bezeichneten Neon und Helium gefundenen Abweichungen vom Ähnlichkeitsgesetz, die durch Bestrahlung zurückgedrängt werden können, auf geringe Verunreinigungen zurückzuführen sind. Auch der Anstieg des Kathodenfalles in reinem Neon bei Bestrahlung, wie er schon von Reichrudel und Spiwak[1]) beobachtet wurde, läßt auf solche Verunreinigungen des Gases schließen.

[1]) E. Reichrudel u. G. Spiwak, Phys. ZS. d. USSR. **10**, 121, 1936.

V. Ergebnisse der Vergleichsmessungen von Kathodenfall und Zündspannungsminimum.

Die Ergebnisse der Kathodenfallmessungen in verschiedenen Gasen und die des Minimums der Zündspannung sind in Tabelle 1 gegenübergestellt. Wie erwartet, liegt bei allen Gasen der Kathodenfall unter dem Zündspannungsminimum. Die Differenz ist aber bei den unedlen Gasen prozentual kleiner, als bei den Edelgasen, obwohl bei diesen die Feldverzerrung wegen des kleineren Kathodenfalles und der größeren Dunkelraumdicke viel geringer ist. Es kann also bei den Edelgasen die Differenz nicht allein durch den Einfluß der Feldverzerrung erklärt werden.

Tabelle 1. Kathodenfall V_K und Minimum der Zündspannung V_Z min.

Gas	Kathodenfall	Zündspannungsminimum	Prozentuale Differenz
Helium	159	223	28,6
Neon	172	205	16,4
Argon	181	210	14,3
Stickstoff	242	277	12,6
Wasserstoff	271	285	4,9
Sauerstoff	370	430	13,9

Nimmt man aber die Messungen der beiden Größen im Neon-Argon-Gemisch bei dem Argonprozentsatz vor, bei dem beide ein Minimum haben, so ergibt sich eine Differenz zwischen ihnen von etwa 7%, während sie sich in reinem Neon um 16,4% und in reinem Argon um 14,3% unterscheidet. Da bei diesem Argonprozentsatz die Lebensdauer der metastabilen Atome des Neons infolge der Ionisation des Argons sehr klein ist, wird damit ein Zusammenhang der großen Differenz im reinen Gase mit der Anwesenheit von metastabilen Atomen wahrscheinlich.

VI. Diskussion der Versuchsergebnisse.

Die beschriebenen Messungen haben gezeigt, daß bei der Glimmentladung in reinen Edelgasen das Hehlsche Gesetz und die Ähnlichkeitsgesetze gelten. In Neon-Argon-Gemischen sind infolge der Ionisation des Zusatzgases die Werte für Stromdichte, Kathodenfall und Zündspannung kleiner als bei den reinen Gasen. Bei denjenigen Argonzusätzen, bei denen die Zündspannung ein Minimum hat, wird die Kontraktion der Entladung so gering, daß das Hehlsche Gesetz nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Ferner zeigten sich bei den Gasgemischen Abweichungen vom

Ähnlichkeitsgesetz, die aber durch Bestrahlung der Entladung mit dem Licht einer positiven Säule des gleichen Gases vermindert werden können.

Schließlich wurde durch die Messungen bestätigt, daß in den reinen Edelgasen die Differenz zwischen dem Kathodenfall und dem Minimum der Zündspannung auffallend groß ist. In Neon-Argon-Gemischen ist diese Differenz viel kleiner als in den reinen Gasen. Aus diesen Meßergebnissen sollen nun Schlüsse über die Rolle der metastabilen Atome in der Glimmentladung gezogen werden.

1. Stufenweise Ionisation über metastabile Atome. Aus der Gültigkeit der Ähnlichkeitsgesetze in reinem Neon und Argon folgt nach den Steenbeckschen Untersuchungen, daß die stufenweise Ionisation über metastabile Atome hier gegenüber der Elektronenionisierung von untergeordneter Bedeutung sein muß. Da aber in der Glimmentladung wegen der größeren Stromdichte die metastabilen Atome in größerer Zahl erzeugt werden als in der Townsend-Entladung, erscheint diese Tatsache im Hinblick auf die Schadeschen Arbeiten, in denen die Bedeutung der stufenweisen Ionisation über metastabile Atome in der Townsend-Entladung nachgewiesen wird, überraschend. Im Gegensatz zu dieser wird aber in der Glimmentladung nur ein kleiner Teil der gebildeten metastabilen Atome in demjenigen Gebiet des Entladungsraumes Ionisationsprozesse verursachen, in dem diese für Stromdichte und Kathodenfall von Bedeutung sind. Da nämlich die meisten metastabilen Atome in der Nähe des Glimmsaumes gebildet werden, diffundieren sie von hier aus in erster Linie zur Kathode hin, an der sie beim Aufprall vernichtet werden. Die Konzentration der metastabilen Atome ist also im Kathodenfallgebiet verhältnismäßig klein, und daher werden die meisten die Kathode auch erreichen, ohne im Gebiet des Kathodenfalles mit einem anderen metastabilen Atom zusammenzustoßen. Dies folgt auch aus den Messungen von Herrn A. Hoffmann[1]) in unserem Laboratorium, nach denen die Lebensdauer der metastabilen Zustände allein durch den Abstand der Wände und die Größe der Elektroden bestimmt ist und linear mit dem Druck wächst. In der Glimmentladung tritt der Einfluß der stufenweisen Ionisation in den reinen Edelgasen also zurück gegenüber den anderen Ionisierungsprozessen.

Die Ergebnisse der Stromdichte- und Kathodenfallmessungen in Neon-Argon-Gemischen lassen sich, wie schon gezeigt wurde, durch die Ionisation von Argonatomen beim Zusammenstoß mit den metastabilen Atomen des Neons erklären. Die gemessenen Abweichungen von der

[1]) Erscheint demnächst in ZS. f. Phys.

quadratischen Druckabhängigkeit der normalen Stromdichte (Fig. 10 und 11) können aber nicht auf diesen Prozeß zurückgeführt werden, denn nach Steenbeck[1]) kann dieser die Ähnlichkeitsgesetze nicht stören. Auch die von Büttner[2]) angegebene Bedingung, wonach bei ähnlichen Entladungen auch das Verhältnis des Elektrodenabstandes zum Elektrodendurchmesser konstant sein muß, mit der er das Absinken der Zündspannung bei steigendem Druck und konstantem $p \cdot d$ deutet, ist in der Glimmentladung von untergeordneter Bedeutung, solange ein normales Gebiet bei der gegebenen Elektrodenanordnung existiert, und nur das Innere des Gebietes zur Messung benutzt wird, wie es bei den vorliegenden Messungen der Fall war. Auch die Anreicherung der Argonatome im Gasraum vor der Kathode, wie sie durch die bevorzugte Ionisation des Argons verursacht wird, reicht bei den im untersuchten Druckgebiet gemessenen Stromdichten nicht aus, um die Größe der Abweichung zu erklären, wie eine einfache Abschätzung ergibt.

Es gewinnt deshalb ein Oberflächeneffekt auf der Kathode an Wahrscheinlichkeit, an dem aber, wie aus den Bestrahlungsversuchen folgt, sowohl metastabile Atome als auch Zusatzgasatome beteiligt sein müssen. Zur Deutung sei auf die mit der Stromdichte ansteigende Beladung der Kathode mit Argon hingewiesen, die durch die bevorzugte Ionisation des Argons verursacht wird. Sichere Angaben darüber können aber erst dann gemacht werden, wenn über die Veränderungen der Kathodenoberfläche durch die Entladung Näheres bekannt ist.

2. Elektronenauslösung an der Kathode durch metastabile Atome. Die Meßergebnisse der Tabelle 1 haben gezeigt, daß die Differenz zwischen Kathodenfall und dem Minimum der Zündspannung in denjenigen Gasen besonders groß ist, die metastabile Anregungszustände besitzen. Auch durch die Messungen in Neon-Argon-Gemischen, durch die gezeigt wurde, daß die Differenz der beiden Größen am kleinsten ist, wenn die anwesenden Argonprozentsätze gerade zur Vernichtung aller metastabilen Atome durch Argonionisation ausreichen (Fig. 9), hat sich deren Mitwirkung bestätigt. Da aber Ionisationen durch Stoß zweiter Art in reinen Gasen nicht von Bedeutung sind, liegt es nahe, die Differenz aus der Elektronenauslösung durch die metastabilen Atome an der Kathode zu erklären, wie sie von verschiedenen Autoren angenommen wird[3]). Da prozentual in der Glimm-

[1]) M. Steenbeck, Wiss. Veröff. Siemens **11**, 36, 1932 und v. Engel und M. Steenbeck, Elektr. Gasentladungen II, S. 97, Berlin 1934. — [2]) H. Büttner, ZS. f. Phys. **111**, 750, 1939. — [3]) F. M. Penning, ZS. f. Phys. **78**, 454, 1932; J. J. Glotow, Phys. ZS. d. USSR. **12**, 235, 1937; E. Reichrudel u. G. Spiwak, Ann. d. Phys. **17**, 65, 1933; Phys. ZS. d. USSR. **10**, 121, 1936.

entladung viel mehr metastabile Atome an der Kathode vernichtet werden, weil sie in größerer Kathodennähe erzeugt werden, können auch durch sie mehr Elektronen an der Kathode ausgelöst werden, als in der Townsend-Entladung, wo die metastabilen Atome hauptsächlich an der Anode vernichtet werden. Dies ist einer Vergrößerung der Ionisierungszahl γ gleichbedeutend, wodurch die Brennspannung der Entladung absinkt. Es macht sich also die Elektronenauslösung durch die metastabilen Atome an der Kathode durch die große Differenz zwischen dem Kathodenfall und dem Minimum der Zündspannung bemerkbar.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Forschungslaboratorium II der Siemens-Werke ausgeführt. Ich erlaube mir, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. G. Hertz für sein stets förderndes Interesse und für viele wertvolle Diskussionen herzlichst zu danken. Auch Herrn Dr. Ing. habil. R. Schade bin ich für viele Anregungen und Ratschläge bei der Planung und Durchführung der Arbeit zu großem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 27. Juni 1914 wurde ich als Sohn des Schlossermeisters Emil Meißner und seiner Ehefrau Bertha, geb. Klinke, in Rheinsberg (Mark) geboren. Mein Vater, der im August 1914 zum Kriegsdienst einberufen wurde, kehrte 1918, an Leukämie erkrankt, zurück und starb am 15. November 1921 an den Folgen dieses Leidens.

Unterdessen war ich am 1. April 1920 in die Gemeindeschule zu Rheinsberg eingeschult worden. Von 1924 ab besuchte ich die Mittelschule Neuruppin, bis ich 1928 in die Oberrealschule i. A. Neuruppin übertrat, wo ich Ostern 1932 die Reifeprüfung mit dem Prädikat „gut" bestand. Nach meinem Abiturium ließ ich mich an der Universität Berlin immatrikulieren, um Physik zu studieren. Da meine Mutter außer ihrer Kriegerwitwenrente kein Einkommen hatte, war ich gezwungen, mir mein Studium selbst zu verdienen. Dies gelang mir zunächst durch das Entgegenkommen meiner ehemaligen Lehrer, die mir aus eigenen Mitteln eine Werkstudententätigkeit als Famulus für die naturwissenschaftlichen Fächer im Schullaboratorium ermöglichten. Die Schwierigkeiten, die dabei nicht zuletzt durch die tägliche, lange Bahnfahrt für die Durchführung des Studiums entstanden, konnten zum Teil ausgeglichen werden durch viele Anregungen, die sich aus dieser Tätigkeit naturgemäß ergaben.

An der Universität belegte ich die einschlägigen physikalischen, mathematischen und chemischen Vorlesungen und Übungen. Im Januar 1938 trat ich dann in das Forschungslaboratorium II der Siemenswerke als Werkstudent ein, das unter Leitung von Herrn Professor Hertz von der Technischen Hochschule Berlin steht. Hier führte ich Untersuchungen über den Einfluß der metastabilen Anregungszustände auf die normale Stromdichte und den normalen Kathodenfall der Glimmentladung in Edelgasen und Edelgasgemischen durch, deren Ergebnisse ich mir jetzt erlaube, als Dissertation einzureichen.

Vom 1. April bis 30. September 1935 habe ich der studentischen Arbeitsdienstpflicht genügt. Auch im Wintersemester 1937/38 und im Sommersemester 1938 war ich vom Studium beurlaubt, da ich 4 Monate zum Heeresdienst eingezogen war.

Ich gehöre seit dem 5. Mai 1934 dem Deutschen Luftsport-Verband und, nach dessen Überführung in das NSFK. diesem an. An der Fachschaftsarbeit der deutschen Studentenschaft habe ich mich soweit beteiligt, wie es mir neben meiner Stellung als Werkstudent möglich war.

Meine Dissertation war im wesentlichen fertiggestellt, als ich am 28. August 1939 bei Beginn des Krieges zum Wehrdienst eingezogen wurde. Ich konnte dann die Arbeit in der vorliegenden Form während meiner Freizeit an der Front zum Abschluß bringen.

Johannes Meißner

Druck von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig
Printed in Germany